

ГОСУДАРСТВО СССР

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ГЕОДЕЗИИ
АЭРОСЪЕМКИ И КАРТОГРАФИИ им. Ф.Н.КРАСОВСКОГО

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора ЦНИГИР:

Герасимов М.Г.Герасименко

17. 05 1991 г

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ СВЕТОДАЛЬНОМЕРОМ ВЫСОКОТОЧНЫМ ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ
(СВГ)

МИ БГЕИ II-91

МВИ аттестована ЦНИГИР

Зав. осмотри

Смирдюков

А.И.Смирдюков

Исполнители

Сиротин
Бека - 1/3
Минченко

А.С.Трофимов

Б.В.Ширев

А.Н.Минченко

1991

I. Введение

I.1. Назначение методики.

Настоящая методика разработана с целью описания методических приемов, рекомендуемых при измерениях дальномером СВГ базисов 2-го разряда и специальных базовых линий (линий геодинамических полигонов, расстояний в целях прикладной геодезии). Методика предполагает знакомство пользователя с техническим описанием (ТО) и инструкцией по эксплуатации (ИЭ) дальномера, она составлена по результатам исследований СВГ в период его разработки и полевых испытаний в 1990 – 91 гг.

I.2. Краткие сведения об устройстве СВГ и принципе его действия

В соответствии с ТЗ основные параметры СВГ следующие:

- дальность действия от 0,5 до 10 км;
- температурный диапазон применения от +10 до +30 °C;
- потребляемая мощность ~ 70 Вт;
- дальномер является нестандартизированным средством измерения, каждый экземпляр которого должен проходить ведомственную метрологическую аттестацию.

В состав дальномера входят:

- приемо-передатчик;
- блок управления;
- центрировочный столик;
- подставка приемо-передатчика;
- комплект электронных датчиков температуры для определения вертикального температурного градиента;
- 2 мачты для подъема датчиков на высоту до 10 м;
- два комплекта метеоприборов (анероид типа М 67, психрометр типа МВ 4М);
- отражатель с подставкой и центрировочный столик отражателя;

- аккумулятор;
- штативы.

Приемо-передатчик является оптико-электронным блоком, выполняющим функцию формирования сигнала, передаваемого на отражатель, и обработки сигнала, принятого с отражателя. Структурно он включает в себя 2 канала - канал разрешения неоднозначности (РН) и канал уточнения расстояния (УР). В приемо-передатчике предусмотрена поисковая труба для наведения на отражатель.

Блок управления обеспечивает выполнение следующих функций:

- а) установку временного интервала между импульсами по предварительно известному (с точностью до сотен метров) расстоянию;
- б) генерирование стабильного уровня СВЧ импульсной мощности на выходной частоте 600 МГц;
- в) перестройку входной задающей частоты 10 МГц в пределах **5** кГц; ,
- г) индикацию уровня сигнала;
- д) индикацию текущей частоты.

Совместная работа блока управления и приемо-передатчика в основном сводится к следующим операциям:

- включение СВЧ-генератора и настройка модулятора-демодулятора;
- установка интервала между импульсами;
- перестройка частоты задающего генератора до получения минимума сигнала с фотоприемника.

В качестве источника излучения используется гелий-неоновый лазер типа ЛГН-207А с $\lambda_{изл.} = 0.6328$ мкм; в качестве индикатора амплитуды импульса применяется осциллограф С1-101; в качестве измерителя частоты - счетчик частоты.

Подставки под иемо-передатчика и отражателя аналогичны и позволяют выполнять плавное наведение прибора и отражателя. В подставки встроен оптический центрир для точного центрирования над маркой, которое осуществляется при помощи центрировочного столика (предел перемещения ± 10 мм по двум координатам).

СВГ работает по принципу компенсационного способа экстремума, причем достижение минимума¹⁾ между огибающими посланного (опорного) и принятого световых потоков осуществляется в едином СВЧ модуляторе-демодуляторе изменением масштабной частоты в рабочем диапазоне 600 МГц ± 300 кГц.

Более подробные сведения об устройстве СВГ и принципе его действия см. в ТО и ИЭ. (СВГ.00.00.000.ТО)

¹⁾ В дальнейшем изложении это понятие в качестве термина будем брать в кавычки для выделения его среди других минимумов.

2. Измерение линий светодальномером СВГ

2.1. Режим разрешения неоднозначности

Для разрешения неоднозначности канала точного измерения необходимо знать приближенное значение расстояния с предельной погрешностью 60 мм. Оно может быть известно заранее, либо получено с применением канала разрешения неоднозначности дальномера по методике, изложенной в ПЭ СВГ.

2.2. Режим уточнения расстояния

2.2.1. В режиме уточнения расстояния используется метод плавного изменения масштабной частоты; информация о разности фаз опорного и информационного сигналов подается на электрод электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) осциллографа и представляется на экране ЭЛТ в виде сигнала, уровень которого пропорционален разности фаз. Минимум этого сигнала соответствует уложению целого числа N полуволн плюс $1/2$ масштабной частоты в измеряемом расстоянии.

Для конкретного измеряемого расстояния D возможно существует не одна, а несколько частот из диапазона 600,0 - 600,30 кГц, которым соответствует целое число полуволн плюс $1/2$, укладывающихся в измеряемом расстоянии. При изменении числа уложенных в расстояние полуволн на 1, масштабная частота должна получить приращение

$$\Delta f = \frac{c}{2D_{km}} = \frac{3 \cdot 10^2}{2D_{km}} \text{ кГц}$$

где c - скорость света. Используя это выражение, можно найти n - "минимумов" для измеряемого расстояния в диапазоне частот 600 000 - 600 300 кГц, округляя n до ближайшего целого в выражении

$$n = \frac{600\ 300 - 600\ 000}{\Delta f} = \frac{3,0 \cdot 10^2}{\Delta f}$$

Таблица I

Приращения частот при увеличении \sqrt{N} на I и число "минимумов для диапазона 600,0 - 600,30 кГц

па- метры	расстояния (км)						
	0,5	1,0	2,0	3,0	5,0	8,0	10,0
Δf кГц	300	150	75	50	30	10,8	15
$\frac{\Delta f}{60}$ кГц	5,0	2,5	1,25	0,83	0,50	0,31	0,25
n	1	2	4	6	10	16	20

Для тех случаев, когда $n \geq 2$ измерения при помощи СВГ рекомендуется проводить на двух частотах, близких к середине диапазона масштабной частоты. Так как на восьмиразрядном табло СВ1 высвечивается F - значение масштабной частоты, деленное на 60 (т.е. $F = \frac{f}{60}$), то среднему значению $f = 600 \text{--} 600,30 \text{ кГц}$ соответствует значение на табло, равное 10 003 000 Гц.

2.2.2. Операции единичного измерения, связанные с принципом действия и конструкцией дальномера

Таких операций 4: ПРОГРЕВ прибора, НАСТРОЙКА СВЧ модулятора, УСТАНОВКА ВРЕМЕННОГО ИНТЕРВАЛА между импульсами, РЕГУЛИРОВАНИЕ СИГНАЛА.

ПРОГРЕВ прибора выполняется не менее 5 минут до начала работ. Следующие две из перечисленных ниже операций выполняются в режиме "контроль" на осциллографе.

НАСТРОЙКА СВЧ модулятора контролируется по экрану осциллографа: ширина импульса устанавливается равной приблизительно ширине одной клетки при помощи ручки "время/деление", а ручка " $\sqrt{V}/\text{деление}$ " должна находиться в положении 0,2; ручкой "настройка СВЧ" настроит СВЧ модулятор в резонанс, добиваясь максимальной амплитуды сигнала на осциллографе, при этом амплитуда сигнала должна быть не менее 3 клеток: увеличение сигнала соответствует смещению его следа на экране ОЛТ вниз.

УСТАНОВКА ВРЕМЕННОГО ИНТЕРВАЛА между импульсами выполняется после вычисления из выражения

$$t_{имп} = D_{km} \cdot 7 \text{ мкс}$$

времени прохождения импульсом измеряемого расстояния. В процессе установки временного интервала ручками "ГРУБО", "ТОЧНО" добиваются, чтобы расстояние между первым и вторым импульсом на экране осциллографа было равно вычисленному значению $t_{имп}$, принимая во внимание, что ширина импульса соответствует 15 мкс. Затем осциллограф переключают в режим "измерение" и выполняют действия по следующему алгоритму.

РЕГУЛИРОВАНИЕ СИГНАЛА (алгоритм)

1. Навести дальномер по максимуму отраженного света в трубе оптического канала.

2. Установить на осциллографе усиление 0,2.

3. Открыть клин.

4. Изменяя частоту, найти максимальную амплитуду сигнала на экране осциллографа; уточнить амплитуду и форму сигнала и расстояние между импульсами УСТАНОВКОЙ ВРЕМЕННОГО ИНТЕРВАЛА.

5. Отношение максимальной амплитуды сигнала к амплитуде "блика"¹⁾ больше двух? Если да, то перейти к 6. Если нет, то перейти к 8.

6. Если усиление на осциллографе обеспечивает максимальную чувствительность, то перейти к 7, если нет, то перейти к 8 (Оптимальное отношение сигнал/блеск более $3 \div 4$).

7. Выполнить уменьшение сигнала (в случае необходимости) изменением положения клина. Перейти к 9.

8. Увеличить усиление на осциллографе, переводя ручку "усиление" в следующее положение. Перейти к пункту 4.

9. Перейти к измерению расстояния.

¹⁾ "блеск" - сигнал, обусловленный отражением в оптическом канале приемо-передатчика.

2.2.3. Методика регистрации "минимума", содержание приема измерений, оценка точности

Регистрация частоты, соответствующей "минимуму", выполняется следующим образом:

- вращением ручки изменения частоты в сторону увеличения частоты добиваются уменьшения сигнала до минимума и берут отсчет F_1 по табло восьмиразрядного счетчика;
- вращают ручку частоты в ту же сторону до заметного увеличения сигнала;
- начинают вращение ручки частоты в обратную сторону, добиваясь уменьшения сигнала до минимума, и берут отсчет F_2 по табло восьмиразрядного счетчика.

Таким образом, регистрация "минимума" осуществляется при подходе слева и справа; одна серия наблюдения "минимума" включает 5 пар зарегистрированных значений частоты. Один прием измерений расстояния включает в себя 3 серии наблюдений "минимума". После каждой серии выполняют новое наведение на отражатель и контроль настройки СВЧ, временного интервала и действия по алгоритму РЕГУЛИРОВАНИЕ СИГНАЛА. Образец записи в журнале измерений приведен в разделе 3.

Перед началом приема и по его окончании регистрируют метеопараметры в "Полевом журнале метеоданных" (образец записей метеопараметров на конечных точках линии см. след. стр.). Давление измеряют при помощи барометров-анероидов класса М 67, температуру воздуха и влажность – при помощи психрометров типа МВ 4М, укрепленных на высоте не менее 1,7 м над землей и защищенных от прямого воздействия солнечной радиации. Одновременно с метеоданными регистрируют показания верхнего и нижнего датчиков на мачте и для каждого приема вычисляется текущее значение вертикального градиента температуры по формуле

$$\gamma = \frac{t_{\text{дн}}^* - t_{\text{вр}}^* + \Delta_k}{h_{\text{нр}}}$$

где $h_{\text{нр}}$ – расстояние между верхним и нижним датчиками; $t_{\text{дн}}^*$ и $t_{\text{вр}}^*$,

КАЛИБРОВКА ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ

Пункт Бел. Расг дата 29.08.90 Исполнители Тимеевъ, Морозъ

время	прибор	номера отсчетов						средн. знач.
		1	2	3	4	5	6	
16/30	сухой терм.	10.0	10.1	10.1	10.0	10.0	10.0	$\bar{t}_{nc} = 10$
	верхн. датчик	12.2	12.4	12.1	12.3	12.3	12.3	$\bar{t}_{dc} = 12$
	нижн. датчик	9.8	9.3	9.8	9.7	9.7	9.6	$\bar{t}_{dn} = 9$
18/10	сухой терм.	7.3	7.3	7.4	7.3	7.3	7.3	$\bar{t}_{nc} = 7$
	верхний датчик	9.3	9.2	9.1	9.3	9.3	9.3	$\bar{t}_{dc} = 9$
	нижний датчик	7.0	6.9	6.7	6.9	6.9	6.7	$\bar{t}_{dn} = 6$

Поправки в отсчеты по датчикам: $\Delta t_{\text{в}} = \bar{t}_{\text{nc}} - \bar{t}_{\text{д,в}}$; $\Delta t_{\text{н}} = \bar{t}_{\text{nc}} - \bar{t}_{\text{д,н}}$

Исправленные за калибровку показания датчиков вычислять по

формулам: $t_{de} = t_{de}^* + \Delta t_e$; $t_{dn} = t_{dn}^* + \Delta t_n$.

Поправка Δ_K в разность $t_{46}^* - t_{44}^*$ за калибровку датчиков для учета ее при вычислениях вертикального градиента: $\Delta_K = t_{44} - t_{46}$.

Если абсолютное значение $|\Delta_k^k - \Delta_k^n|$ разности начального Δ_k^n и конечного Δ_k^k значений Δ_k превосходит $0,7^\circ\text{C}$, то для вычисления вертикального градиента выполнить интерполирование на время измерения градиента.

МЕТЕОДАННЫЕ

Пункт Бер. Рог Дата 29.08.90 Погода ясно, безветрно

Исполнители Ташевънъ, Морозовъ Датчики: верхн. № 006 нижн. № сс
Барометр № 2611 $A_K^H = -2.6$; $A_K^K = -2.4$; $A_K^L = -2.5$.

Психрометр № 1320, $\Delta t_{nc} = +0.2$; $\Delta t_{nb} = 0.0$; $h_{He} = 8.0$

соответственно, показания верхнего и нижнего датчиков; Δ_K - поправка за калибровку датчиков в разность их показаний (берут из "Полевого журнала метеоданных").

При отсутствии постоянной радиосвязи между конечными пунктами метеоданные у отражателя регистрируют с интервалом 10 м и затем интерполяцией вычисляют значения метеоданных на момент измерений и эти значения заносят в журнал измерения расстояний.

По результатам исследования дальномера получено, что оптимальным числом приемов является 8. При наличии 2 и более "минимумов" расстояние измеряется 4 приемами на каждом из двух "минимумов", находящихся в середине частотного диапазона.

Все измерения линий до 3 км рекомендуется выполнять с диафрагмой $\vartheta = \sim 100$ м/ на отражателе. При расстояниях менее 2 км такая диафрагма обязательна. Допустимый угол наклона дальномерного луча к горизонту не должен превышать 2° , чтобы не вносить заметной погрешности за наклон плоскости призмы отражателя.

Совокупность измерений, включающую 8 приемов будем называть программой. Независимо от того, было ли выполнено целое число программ или одна из них осталась незавершенной (например, из-за ухудшения видимости) в обработку следует взять все завершенные приемы: вычислить \bar{D} - среднее значение из всех, полученных в приемах значений D_d , и найти ср.кв.погрешность измерения одним приемом

$$m_D = \sqrt{\frac{\sum (D_d - \bar{D})^2}{n - 1}} \quad (1)$$

где n - число всех приемов, принятых в обработку. Ср.кв.погрешность измерения одной программой находится из выражения

$$M_n = \sqrt{\frac{m_D^2}{n} + M_K^2} \quad (2)$$

где M_K - ср.кв. погр. определения R из свидетельства об аттестации. Ср.кв.погрешность измеряемой линии вычислить по формуле

$$m_{\bar{D}} = \sqrt{\frac{\sum (D_d - \bar{D})^2}{n(n-1)} + M_k^2} \quad (3)$$

где n - число приемов измерений, принятых в обработку по данной линии; \bar{D} - среднее значение длины линии, вычисленное из всех значений D_d , принятых в обработку по данной линии.

2.2.4. Особенности измерения линий до 1 км

Основными особенностями измерения коротких линий являются повышенные требования к точности центрирования, к наведению отражателя на приемо-передатчик и менее жесткие требования к метеоусловиям, и, как следствие, к организации измерений метеопараметров. На отражатель надевают бленду с отверстием $\varnothing \sim 100$ в центральной части.

Для ослабления влияния ошибок центрирования короткая линия должна быть закреплена знаками в виде пилонаов, на верхнюю плоскость которых устанавливаются дальномер и отражатель. Центрирование приемо-передатчика и отражателя выполняется при помощи центрировочного столика и центрира, встроенного в подставку прибора и отражателя. Для исключения эксцентризитета посадочного шарика подставки относительно вертикальной оси вращения измерение расстояния необходимо выполнить при двух положениях подставки, отличных на 180° (половина измерений выполняется при положении подставки 0° , другая - при положении 180°). После каждой установки отражатель должен быть приведен в вертикальное положение посредством уровня отражателя и подъемных винтов координатного столика. В случае, если отражатель устанавливается на знак, центром которого является дюймовая втулка, вмонтированная в плиту знака, его центрирование осуществляется путем посадки шарика, находящегося в основании отражателя, непосредственно во втулку знака. Вертикальность отражателя достигается вращением специальных подъемных винтов, находящихся в ободке нижней части отражателя.

Ошибка измерения высоты приемо-передатчика и отражателя над маркам базиса не должна превышать ± 1 м, для чего на корпусах приборов должны быть нанесены следы горизонтальных осей. Ориентирование отражателя на приемо-передатчик обязательно осуществляется при помощи оптического визира.

Так же как и на базисах более 1 км для уменьшения влияния метеоусловий на коротких расстояниях выполняют измерения в период изотермии, однако на коротких базисах можно ограничиться измерением вертикального градиента только в одной из конечных точек.

Измерения коротких расстояний можно проводить, если значение температурного градиента на одном из концов базиса находится в интервале – 0,06 ÷ 0,15 °С/м и при этом флюктуация сигнала позволяет уверенно регистрировать минимум на экране осциллографа. Температура и влажность измеряются в обеих концевых точках.

Измерения следует выполнять в две видимости, в каждую – не менее, чем восьмью приемами (в совокупности это составит две программы). Желательно, чтобы измерения состояли из "прямых" и "обратных".

3.2.5. Особенности измерений линий длиной более 1 км

Основной особенностью измерения таких линий являются повышенные требования к учету метеопараметров. Поэтому измерения следует выполнять только в период изотермии, наступление которого характеризуется вертикальным градиентом, не превышающим по абсолютной величине 0,06 °/м. Для контроля за наступлением этого периода используются на обоих концах измеряемой линии мачты высотой 15 м с укрепленными на них вверху и внизу датчиками температуры. Перед началом и после окончания измерений выполняют калибровку этих датчиков по термометру психрометра (см. Инструкцию по эксплуатации СБГ). Если по результатам заключительной калибровки датчиков окажется, что во время измерений вертикальный градиент температуры на одном из концов базиса превышает 0,06 °/м, то дальномерные измерения

следует повторить.

Минимальная допустимая высота луча в промежутках между конечными точками измеряемого расстояния не должна быть менее $\pm 10\%$.
Максимально допустимая средняя по всему лучу высота - не более 20 м.

Поскольку влияние метеопараметров на результаты измерений СВГ довольно заметно, следует повторить измерения, если ср.кв. погрешность одного приема, вычисленная по всем приемам (Формула I) превышает указанные в таблице ~ значения.

Таблица 3

предельные значения D (км)	ср.кв. погрешность (м) одного приема
---------------------------------	---

1	1,5
2	2,5
5	3,0
7	3,6
10	5,0

2.2.6. Особенности применения СВГ для измерений на базисах 2-го разряда

В соответствии с РТЛ-8.12-85 базисы 2-го и 3-го разрядов обеспечивают закрепление следующих интервалов: 24 м; 48 м, 72 м, 96 м, 192 м, 288 м, 384 м, 480 м, 964 м, 1488 м, 2616 м, 3000 м.
Для интервалов, превышающих 0,5 км рекомендуется выполнить дальномером СВГ прямые измерения каждого из них не менее, чем четырьмя программами, не менее, чем в две видимости. Измеренные значения следует считать среднее \bar{D} из всех приемов измерений, прописанное ему ср.кв. погрешность, вычисленную по Формуле (3).

Измерения следует начинать с минимального расстояния, выполнив на нем 2 программы с тем, чтобы вторые две программы использовать после завершения измерений на всех остальных интервалах; это

позволит проконтролировать постоянство приборной поправки на данном базисе. Пригодность измерений предварительно можно оценить по формуле (1) и табл. 2. Для измерений расстояний, меньших 500 м, на базисах 2-го разряда рекомендуется или использовать дальномер ОС1 (см. РТМ 66-8.15-66) или получать короткое расстояние как разность D_R прямых измерений расстояний D_1 и D_2 , оба из которых должны быть не менее 500 м. Ср.кв. погрешность m_{D_R} , полученных таким образом расстояний, находится из выражения

$$m_{D_R} = \sqrt{m_{D1}^2 + m_{D2}^2},$$

где m_{D1} и m_{D2} - ср.кв. погрешности расстояний, участвующих в вычислении, значения которых получены по формуле (3).

Так как отражатель СВГ не имеет горизонтальной оси, что не позволяет выставить его плоскость точно перпендикулярно направлению на приемо-передатчик, при измерениях базиса 3-го разряда можно допустить угол наклона дальномерного луча не более $\pm 0^\circ$ по абсолютной величине на каждом измеряемом отрезке.

Более подробные сведения о применении СВГ на базисах 3-го разряда должны быть приведены в соответствующем РТК.

5. Запись и обработка результатов измерений

3.1. Форма журнала для записей данных при измерениях расстояний выполняемых в режиме уточнения расстояний, приведена на следующей странице. Она предусматривает размещение на одной странице журнала записей во время двух последовательных приемов, каждый из которых начинается и заканчивается регистрацией метеоданных. Эта форма журнала рассчитана на ручную обработку результатов измерений; при использовании автоматизированных способов вычислений поле "Определение числа полуволн + 0,5" и поле "Вычисление D_D " не будут заполняться.

Приняты следующие обозначения:

t_{d_n} , t_{d_v} - значения температуры воздуха, соответственно, по нижнему и верхнему датчикам, установленным на мачте, после введения поправок Δt_n , Δt_v за калибровку;

t_{ps} , t_{pe} - значения температуры, соответственно, по сухому и влажному термометрам психрометра, после введения поправок Δt_{ps} и Δt_{pe} в показания термометров;

P - значение давления после введения поправок в показания анEROида;

δ_{tr} - поправка в расстояние за температуру и давление;

δ_e - поправка в расстояние за влажность;

D_0 - значение расстояния, вычисленное для начальных условий $t = 0^{\circ}\text{C}$, $P = 760 \text{ мм рт.ст.}$; $e = ?$

k - приборная поправка дальномера в канале уточнения расстояний для данной пары прибор-отражатель;

Δ_ν - поправка за наклон оптического канала дальномера (ПД) к горизонту;

D^* - приближенное значение измеряемого расстояния, полученное в канале разрешения неоднозначности или другим способом;

$\lambda/2$ - длина полуволны масштабной частоты для начальных условий $t = 0^{\circ}\text{C}$, $P = 760 \text{ мм рт.ст.}$; $e = ?$

D_d - значение расстояния, вычисленное по показаниям дальномера с учетом метеоданных и приборной поправки;

$P, 0$ - обозначение конечных точек измеряемого расстояния, в которых размещены, соответственно, прибор и отражатель;

i, j - высоты прибора и отражателя над конечными точками.

Символы, дополненные сверху чертой, обозначают среднее значение соответствующей величины. Предварительная обработка геодезических измерений заключается в вычислении метеопараметров вредение соответствующих поправок к отсчетам по приборам, занесенных этих параметров в журнал измерений расстояний, в поле "Вычисление D_D " зано-

Измеряет Марод Пункт Кадыкес $\sqrt{4}$ $i = 0,12$ м 16.

Записывает Грековъ Линия Бер. Ракт $\sigma = 1.54 \text{ м}$

гиряка	время	$t_{\text{рас}}$	$t_{\text{из}}$	P	γ
II	17/00	9.3	5.6	740.5	-0.03
0	17/00	9.1	5.4	740.3	-0.05

Дата 29.03.90

Отчеты F , прием № 1

серия 1	серия 2	серия 3
2953	2985	2974
50	90	64
70	91	84
61	73	62
56	68	78
	62	54
	66	

Вычисление \mathcal{J}_1

E_{nc}	9.1
E_{nb}	5.4
\bar{P}	740.3
δ_{tp}	163.7
δ_e	2.8
k	- 214.2
D_o	9528 334.0
D_s	9528 286.3

Определение числа полуволн + 0,5

\bar{F}	$f = 1 \cdot 10^7 + \bar{F}$	$\lambda_0/2$	$J^* - \delta_{M\mu\tau} - k$	$N + 0.5$
2970	10 002 970	249.677 93	9 528 327.7	38 162.5

точка	время	t_{nc}	t_{ne}	P	γ
II	17/05	9.1	5.4	740.3	-0.05
0		8.9	5.2	740.1	-0.03

Отсчеты F , прием № 2

Вычисление

\bar{t}_{nc}	
\bar{t}_{nb}	
$\bar{\rho}$	
δ_{tp}	
δ_e	
k	
D_0	
D_A	

Определение числа полуволн + 0,5

\bar{F}	$f = 1 \cdot 10^7 + \bar{F}$	$\lambda_0/2$	$\mathcal{Z}^* - \mathcal{S}_{\text{met}} - k$	$N + 0.5$
-----------	------------------------------	---------------	--	-----------

очки	время	t_{ns}	t_{ne}	P	χ
II					
0					

$$t_{nc} = t_{nc}^* + \Delta t_{nc}; \quad t_{ne} = t_{ne}^* + \Delta t_{ne}; \quad P = P^* + \Delta_w + \Delta_t + \Delta_{\text{obs}}$$

$$\gamma = \frac{t_{\Delta e}^* - t_{\Delta n}^* + \Delta_k}{h_{ne}}; \quad \text{исходные данные для вычисления } t_{\Delta e}, t_{\Delta n},$$

$$D = \frac{\lambda}{2} (N + c, 5) + L + \{ \dots + h + \sum_{\alpha}$$

$$\begin{aligned}\frac{\lambda}{2} &= \frac{c}{c+n_0} = \frac{299792 \cdot 46 \cdot 10^4}{2 \cdot 3200 \cdot 10^6 \cdot 1,00030011} = \frac{299792,46}{2 \cdot 3200 \cdot 1,00030011} = \\ &= \frac{299792,46}{6400 (1+0,00030011)} = \frac{299792,46}{6401,420704} = 46,55 \approx 47\end{aligned}$$

состоит среднее из четырех значений t_{pc} , t_{pe} , P в точках 1, 0 до и после приема измерений.

Ниже приводится алгоритм и программа вычисления D_A .

3.2. Алгоритм

$$D_A = D_0 + \delta_{met} + k + \Delta,$$

$$3.2.1. D_0 = (N + 0,5) \frac{\lambda_0}{2}$$

($N + 0,5$) находится по значению дроби, дающей приближенное значение

$$(N + 0,5)^* = \frac{D^* - \delta_{met} - k}{\lambda_0/2}$$

следующим образом: ($N + 0,5$) должно равняться числу, дробная часть которого равна 0,5 и которое является ближайшим к $(N+0,5)^*$;

$\frac{\lambda_0}{2}$ - длина полуволны масштабной частоты, вычисленная для условий $t = 0^\circ\text{C}$, $P = 760 \text{ мм рт.ст.}$ $e = 0$

где: $\frac{\lambda_0}{2} = \frac{1}{2} \frac{c_0}{60f} = \frac{1}{2} \cdot \frac{c}{1+N_0} \cdot \frac{1}{60f} = \frac{c}{120(1+N_0)} \cdot \frac{1}{f} = \frac{24975209 \cdot 10^2}{f}$

$N_0 = 300,11 \cdot 10^6$ - групповой индекс преломления для $t = 0^\circ\text{C}$,

$P = 760 \text{ мм рт.ст.}$, e

$f = (1 \cdot 10^7 + \bar{f})$ измеренное значение масштабной частоты

(\bar{f} - средний для данного приема отсчет по табло),

60 - коэффициент умножения, реализуемый в дальномере для получения масштабной частоты.

$$3.2.2. \delta_{met} = (N_0 - N_{met}) D^* \cdot 10^{-6}$$

D^* - грубое значение измеряемого расстояния, выраженное в мм, получаемое из предварительных измерений с ошибкой не более 60 мм,

N_0 - см. п.3.2.1.

N_{met} - групповой индекс преломления, вычисленный для ^{метеорологических} _{условий} измерения, см. "Справочник геодезиста" под ред. В.Д. Болычакова).

$$N_{met} = (107,87P - 15,65e) \frac{1}{t + 273,16}$$

где: P - давление в мм рт.ст.;

t - температура воздуха в $^\circ\text{C}$;

e - абсолютное значение влажности в мм рт.ст.

значение e находится из выражения (ГОСТ 8.524-85)

$$e = 0.75 E_0 \exp\left[\frac{\alpha t_{ne}}{\beta + t_{ne}}\right] - AP(t_{nc} - t_{ne}) = \\ = 4.584 \exp\left[\frac{\alpha t_{ne}}{\beta + t_{ne}}\right] - AP(t_{nc} - t_{ne}),$$

где: t_{ne} — температура влажного термометра в $^{\circ}\text{C}$; t_{ne} — температура сухого термометра в $^{\circ}\text{C}$; P — давление в ми.рт.ст.; $A = 662 \cdot 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ — психрометрический коэффициент для аспирационного психрометра типов ИВ-4 и М-34; $\alpha = 27,53$; $\beta = 27,52$, $\sim 0^{\circ}\text{C}$ (для воды).

С.в.с. f — приборная поправка, полученная для этого из лаборатории — измеритель. При измерении СВ можно использовать несколько измерителей, соответственно, приборная поправка в каждый случае будет свое, что должно быть учтено при вводе измерений. Тогда общая поправка об измерениях f С.в.с. будет $=$.

3.3. Реализация алгоритма на микрокалькуляторе

"Электроника" МК 52¹⁾)

3.3.1. Инструкция для пользователя

Ввод информации в адресуемые регистры выполняют по следующей таблице

1) Пример вычисления $\frac{t_n}{t_d}$ вручную см. Приложение 1.

параметр	t_{nc}	t_{nb}	P	4.584	17.50	241.2	273.16	$662 \cdot 10^6$
регистр	I	2	3	4	5	6	7	8

параметр	107.87	15.65	$24975209 \cdot 10^2$	k	D^*	300.11
регистр	5	6	A	-	0	-

значение D^* в миллиметрах вводят повторно при переходе от линии; значения k вводят повторно при замене отражателя. В регистры I, 2, 3 информация вводится для каждого приёма. Информация в других адресуемых регистрах сохраняется постоянно. При работе одного приёма по программе (перед пуском её) в регистре следует занести значение \bar{F} - среднее значение частоты, полученное в данном приёме по показаниям цифрового табло. Таким образом, если в регистре с 4 по 7 уже вся информация занесена, для начала счёта очередного приёма измерений необходимо внести: ζ в рег. I, t_{nc} - в рег. 2, P - в рег. 3, \bar{F} - в рег. 7; после этого нажать В/О, С/П и программа начнёт счёт.

3.3.2. Считывание программы из ПЗУ МК 52 и её перезапись

В соответствии с паспортом программа или содержание адресуемых регистров, записанные в ПЗУ могут храниться там до 208 дней, если питание отключено, и не менее 10 дней, если к ПЗУ осуществляется обращение. При включении и выключении МК 52 переключатель З/СЧ устанавливают на СЧ.

Программа вычисления D_d записана двумя блоками - блок копия программы, использующий 77 шагов, и блок адресуемых регистров, использующий 90 шагов. Для считывания информации следуетставить переключатель З/С/СЧ в положение СЧ, а переключатель

в положение II ; набрать на клавиатуре адрес обращения к ячейке 1000077, затем нажать кнопки А↑ и ↓ (во время высвечивания признака обращения к ПЗУ запрещается нажимать другие клавиши). По окончании считывания нажать СЖ. Для считывания блока адресуемых регистров переключатель Д/П ставится на Д и меняется адрес обращения - надо набрать адрес 1С16898, все остальные действия повторяются.

После считывания программы и регистров следует выполнить контрольные вычисления по примеру, приведённому ниже. Если вычисления по примеру не совпадают с результатом, приведённым в примере, следует выполнить повторный ввод t_{nc} , $t_{n\ell}$, P , \bar{F} из примера и повторить вычисления. При повторной неудаче следует проверить корректность ввода адресуемых регистров с целью выявления причин ошибок. Если ошибки обнаружены - выполнить стирание соответствующей части ПЗУ и снова выполнить запись.

3.3.3. Текст программы

	оператор	код	Физическое содержание регистра X
0	ИП5	65	
1	ИП3	62	
2	×	12	
3	ИП2	62	
4	ИП6	66	
5	+	10	
6	+	13	
7	F e ^x	16	
8	ИП4	64	
9	×	12	
10	ИП1	61	
11	ИП	63	
12	-	11	
13	ИП8	66	
14	×	12	
15	ИП3	63	
16	×	1~	
17	-	11	e - давление водяного пара
18	ИП0	60	
19	×	12	
20	ИП9	69	
21	ИП3	63	
22	×	12	
23	-	11	
24	/-/	61	
25	ИП1	61	
26	ИП7	67	
27	+	10	
28	÷	13	групповой индекс преломления
29	К НСЛ	54	пустой оператор для замены на С/Л
30	ИП Д	6Г	
31	-	11	
32	ИП С	6С	
33	1	61	
34	Б1	6С	
35	6	66	
36	/-/	61	

!	оператор	!	код	!	Физическое содержание регистра
37	!	X	!	12	!
38	!	X	!	12	! $-S_{met}$
39	!	0 НСН	!	54	! Пустой оператор для замены на С/П
40	!	→	!	14	!
41	!	↑	!	01	!
42	!	↓	!	03	!
43	!	↔	!	01	!
44	!	+	!	10	!
45	!	Π A	!	6-	!
46	!	←	!	14	!
47	!	÷ -	!	13	! $(N + 0.5)^*$
48	!	0 НСН	!	54	! Пустой оператор для замены на С/П
49	!	↑	!	14	!
50	!	↓	!	01	!
51	!	-	!	11	!
52	!	0 НСН	!	54	! Пустой оператор для замены на С/П
53	!	↑	!	01	!
54	!	↓	!	03	!
55	!	↔	!	00	!
56	!	+	!	10	!
57	!	F O	!	05	!
58	!	←	!	14	!
59	!	÷	!	13	!
60	!	K [X]	!	34	! определение целой части цикла
61	!	5	!	05	!
62	!	BN	!	03	!
63	!	-	!	01	!
64	!	/-/	!	01	!
65	!	+	!	10	! $N + 0.5$
66	!	К НСН	!	54	! Пустой оператор для замены на С/П
67	!	X	!	12	!
68	!	←	!	14	!
69	!	-	!	11	! значение Π_D
70	!	C/P	!	50	!

3.3.4. Контрольный пример

После размещения программы в программной памяти и заполнения
используемых регистров, для обработки одного приёма выполняют сле-
дующие действия:

Чтят информацию: $K \rightarrow RgB$, $D^* \rightarrow RgC$, $t_{nc} \rightarrow RgI$, $t_{ne} \rightarrow Rg2$, $P \rightarrow Rg3$, $\bar{F} \rightarrow RgX$,
нажимают клавиши В/О, С/П.

После останова по оператору 70 программы в регистре .. высвечи-
вается значение D_A .

Изложенный пример:

$$K = -214.2 \rightarrow RgB$$

$$D_A = 9\ 528\ 286.2$$

$$D^* = 9\ 528\ 280 \rightarrow RgC$$

Время счёта 31 с.

$$t_{nc} = 9.1 \rightarrow RgI$$

$$t_{ne} = 5.4 \rightarrow Rg2$$

$$P = 740.3 \rightarrow Rg3$$

$$\bar{F} = 2970 \rightarrow RgX$$

4. Контроль метрологических характеристик дальномера и метеоприборов

4.1. Наиболее важными метрологическими характеристиками дальномера, нестабильность которых, как правило, не сразу удается обнаружить в полевых условиях, является выходное значение масштабной частоты f и приборная поправка k пары дальномер-стационар.

Как показала эксплуатация макета СВГ стабильность масштабной частоты выдерживается в течение всего полевого сезона с погрешностью $(1 \pm 3) \cdot 10^{-7}$. Однако неожиданности не исключены, поэтому следует при возвращении на базу партии выполнить в течение сезона С-С проверки значения f как в канале разрешения неоднозначности, так и в канале уточнения расстояния. Контроль частот во всем рабочем диапазоне должен выполнятся персоналом, знающим сущность измерений частоты, а также с учетом того что течение времени скорость света; среднестатистические и требования к стабильности частот приведены в ТС разд. II.

Определение приборной поправки k в канале уточнения расстояния выполнить, измеряя по "Методике измерений дальномером СВГ" три контрольные линии $\sim 0,5$ км, $\sim 0,6$ км, $\sim 1,5$ км (но не более 2 км) не менее, чем четырьмя программами каждую, и не менее, чем в две видимости каждую. Ср. кв. погрешность контрольных линий должна быть не более $0,7 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{\Delta}$ км. Значение приборной поправки из каждой программы вычислить по формуле

$$k = \bar{d} - \frac{\bar{d}}{d},$$

где d - образцовое значение длины контрольной линии;

\bar{d} - полученное при помощи СВГ среднее для программы значение длины контрольной линии.

Ср. кв. погрешность определения приборной поправки k по формуле

$$M_k = \sqrt{\frac{\sum (k - \bar{k})^2}{n(n-1)}} + 0,16 \text{ мм}^2 \quad (4)$$

n - общее число выполненных программ,

$0,16$ - влияние погрешностей трех исходных базисов, \bar{k} - среднее значение поправки из всех программ; k - значения поправок из отдельных программ. Если \bar{k} окажется более $0,3 \text{ м}$, то следует провести дополнительные измерения. За окончательное значение приборной поправки k берется среднее значение из всех запущенных программ.

Определение приборной поправки K в каналах разделяющих одновременности выполнить измеряя две контрольные линии в диапазоне от $0,5 \text{ км}$ до $1,2 \text{ км}$. На каждой линии должно быть выполнено по 6 программ (одна программа в режиме разрежения неоднозначности состоит из 100 отсчетов на частоте f_1 , запись и вычисления см. ТО и ПР). Соработку результатов определения K выполнить по тем же формулам, что и при определении k .

1. В общем случае для определения длины, измеренной S_{ij} , берут поправки вида $k + K$, следя за $\pm 0,1\text{-м}$ различием способа. Приведен способ можно вести контроль за состоянием этих поправок, если измерять, например, на базисах второго разряда отрезок до 1000 м во всех комбинациях, используя линии длиной около 500 м . Использовать результаты измерений превышений более 2000 м для вычисления k из всех комбинаций не рекомендуется, т.к. в таких случаях увеличивается влияние ошибок навигатора, связанных с длиной линии. На базисах 2-го разряда все комбинации измерений орезка 0 - I488 выглядят следующим образом:
 $-480, 0 - 984, 0 - I488, 480 - 984, 480 - I488, 984 - I488$.
 Же приведен способ составления и вид нормальных уравнений при работе измерений такого трехсекционного базиса.

На трехсекционном базисе все возможные комбинации измеренных резков S между точками 1, 2, 3, 4 составляют следующее множество:

$$S_{12}, S_{13}, S_{14}, S_{23}, S_{24}, S_{34}. \quad (5)$$

Обозначим x_{12}, x_{23}, x_{34} искомые значения измеренных расстояний между пунктами 1-1, 2-2, 3-3. Каждому из измеренных значений ряда (5) должна быть прибавлена поправка δ и тогда для каждого из расстояний $S_{nm} - \delta$ можно записать условное уравнение вида

$$C_1 x_{12} + C_2 x_{23} + C_3 x_{34} = S_{nm} + \delta \quad (6)$$

где коэффициент C равен 1, если соответствующий отрезок α охвачен расстоянием S_{nm} , и $C = 0$, если соответствующий отрезок α не входит в S_{nm} .

Обозначим

$$x_{12} = x_{12}^* + \delta_1; \quad x_{23} = x_{23}^* + \delta_2; \quad x_{34} = x_{34}^* + \delta_3;$$

где звездочкой отмечено приближенные значения с.с.и.с.а. а буквой δ — поправки, которые найдем из уравнений. Поставив привычные обозначения в условное уравнение (6), получим систему уравнений, в которой неизвестные перенесем в левую часть уравнений:

$$\begin{aligned} \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 - \delta &= S_{14} - x_{12}^* - x_{23}^* - x_{34}^* \\ \delta_1 + \delta_2 - \delta &= S_{13} - x_{12}^* - x_{23}^* \\ \delta_2 + \delta_3 - \delta &= S_{24} - x_{23}^* - x_{34}^* \\ \delta_1 - \delta &= S_{12} - x_{12}^* \\ \delta_2 - \delta &= S_{23} - x_{23}^* \\ \delta_3 - \delta &= S_{34} - x_{34}^* \end{aligned} \quad (7)$$

Если в качестве приближенных значений для каждого x^* в этой системе уравнений возьмем соответствующее измеренное значение S , (т.е. примем $x_{12}^* = S_{12}$, $x_{23}^* = S_{23}$ и т.д.)

то в правой части последних трех уравнений получим нули. Если же принять обозначения

$$\ell_1 = \delta_{14} - \delta_{12} - \delta_{23} - \delta_{34}; \quad \ell_2 = \delta_{13} - \delta_{12} - \delta_{23}; \\ \ell_3 = \delta_{24} - \delta_{23} - \delta_{34}; \quad \ell_4 = 0; \quad \ell_5 = 0; \quad \ell_6 = 0;$$

то система нормальных уравнений для вычисления поправок в септическом базисе приобретает вид

$$3\delta_1 + 2\delta_2 + \delta_3 - 3k = [al] \\ 2\delta_1 + 4\delta_2 + 2\delta_3 - 4k = [bl] \\ \delta_1 + 2\delta_2 + 3\delta_3 - 3k = [cl] \\ -3\delta_1 - 4\delta_2 - 3\delta_3 + 6k = [dl] \quad (9)$$

Если раскрыть содержание правых частей, то получим:

$$3\delta_1 + 2\delta_2 + \delta_3 - 3k = \ell_1 + \ell_2 \\ 2\delta_1 + 4\delta_2 + 2\delta_3 - 4k = \ell_1 + \ell_2 + \ell_3 \\ \delta_1 + 2\delta_2 + 3\delta_3 - 3k = \ell_1 + \ell_3 \\ -3\delta_1 - 4\delta_2 - 3\delta_3 + 6k = -\ell_1 - \ell_2 - \ell_3 \quad (10)$$

Таким образом от базиса к базису меняется только правая часть нормальных уравнений (9). Например, для ряда измерений

$$\begin{array}{ll} \delta_{12} = 480.3503 & \delta_{13} = 984.3435 \\ \delta_{23} = 504.2643 & \delta_{14} = -1488.3686 \\ \delta_{34} = 504.2740 & \delta_{24} = -1008.2251 \end{array} \quad (10)$$

получаем значения

$$[al] = -0.7511 \\ [bl] = -1.0013 \\ [cl] = -0.7502 \\ [dl] = 1.0013$$

Оценку точности полученных результатов см. Приложение № 3

Решение системы из четырех уравнений удобно проводить на микрокалькуляторах типа Б3-54 (МК-52, МК-54, МК-56, МК-61; МК-52 позволяет хранить записанную программу несколько месяцев). В Приложении 2 приводится текст (исправленный сравнительно с оригиналом в "Геодезии и картографии" №6, 1986) программы, написанной Чупелем С.А.

Значение k , вычисленное из измерений во всех комбинациях будет иметь меньшую точность, чем полученное из прямых измерений на образцовом базисе, поэтому оно может служить только для выявления заметного изменения приборной поправки. ¹⁾

4.3. Аттестация барометров анероидов должна выполняться не реже 1 раза в 4 года, а определение добавочной поправки должно выполняться ежегодно сличением со ртутным барометром метеостанции. Сновременно со сличением барометра, сличением термометра следует контролировать нуль термометров психрометра. После введения паспортных поправок метеоприборы, входящие в комплект ОДТ обеспечивают ср.кв. погрешности измерения температуры не более $0,2^{\circ}$ давления - 0,6 мм рт.ст., абсолютного значения влажности - от 0,25 до 0,04 мм рт.ст.

1) Наибольшая опасность заключается в том, что при небольшом ряде из шести измерений могут возобладать случайные отклонения с одним знаком и тогда значение k будет отягочено систематической погрешностью не поддающейся распознаванию.

5. Состав бригады измерителей

Руководитель бригады - ведущий инженер - руководит всем процессом измерений, ведет наблюдения.

Помощник руководителя бригады - инженер I-ой категории - является руководителем в организационных вопросах измерений, в процессе измерений ведет запись в журнале дальномерных измерений, обрабатывает результаты измерений.

Два техника I-ой категории ведут метеорологические наблюдения на конечных точках линии, запись в метеожурналах, выполняют калибровку датчиков температуры, выполнит вычисления вручную.

Техник II-ой категории при установке линии, если с датчиков температуры, поддерживает радиосвязь.

Приложение I

Пример вычисления D_A вручную

1. Исходные данные

Коэффициенты: $A = 662 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; $\alpha = 17.50$; $\beta = 241.2 \text{ } ^\circ\text{C}$;
измеренные значения: $k = -414.2 \text{ мкм}$; $D^* = 550 \text{ мкм}$; $t = 5.1 \text{ } ^\circ\text{C}$
 $t' = 5.4 \text{ } ^\circ\text{C}$; $P = 740.3 \text{ мм рт.ст.}$; $F = 2970 \text{ Гц}$.

2. Точность вычислений (при вычислениях сокращать число знаков, указанное в примере).

искомое выражение	значение по контрольному примеру
$\alpha \times t'$	94,5
$\beta + t'$	246,6
$\alpha t / (\beta + t')$	0,3832
$\exp \frac{\alpha t'}{\beta + t'}$	-
$4.584 \exp \frac{\alpha t'}{\beta + t'}$	0,724
$A \times P$	5,120
$t - t'$	0,1
$AP(t - t')$	1,813
e	4,31 мкм рт.ст.
$107.87 P$	79856
$15.65 e$	76,86
$t + 273.16$	282,26
$N_{\text{мет}}$	282,64
$\delta_{\text{мет}}^{(1)}$	166,41 мм
$f = 1 \cdot 10^7 + F$	10002970
$\frac{\lambda}{2} = \frac{24975209 \cdot 10^2}{f}$	249,67793
$(N+0.5)^* = \frac{D^* - \delta_{\text{мет}} - k}{\lambda/2}$	38162,475
$N + 0.5$	38162,5
$D_0 = (N + 0.5) \lambda/2$	354800,3 мкм

$$\rightarrow \delta_A = D_0 + \delta_{\text{мет}} + k$$

Можно определить по "Таблицам вычисления поправки за реальным метеорологическим состоянием, измеренное дальномером"

Вычисление величины поправки за дистанцию

вычисление поправки за метео-условия

вычисление расстояния приведенного к реальному метеосоусанию

расстояние, измеренное дальномером

Приложение 2

Программа обращения матрицы с одновременным решением системы из четырех уравнений на микрокалькуляторе типа "Ленит-оника"
ЛС-54

# п/п	оператор	код	# п/п	оператор	код	# п/п	оператор	код
00	III	53	30	ИИ9	69	60	X	12
01	0+	04	31	X	12	61	И6	46
02	ИПА	6-	32	+	10	62	ИП2	62
03	C/P	50	33	И4	44	63	X	12
04	III	53	34	ИПД	6Г	64	+	10
05	06	06	35	ИПЕ	6L	65	ИП5	65
06	53	53	36	ИПА	6-	66	ИП1	61
07	С8	08	37	ИП9	69	67	ИП9	69
08	ИП7	67	38	X	12	68	X	12
09	ИП9	69	39	И-	4Г	69	И3	43
10	ИП3	63	40	ИИ1	6Г	70	И5	65
11	F X ²	22	41	X	12	71	И	12
12	ИИ0	60	42	-	10	72	+	10
13	/-/	0L	43	-	1-	73	-	1-
14	F -/x	~3	44	-	1-	74	-	1-
15	И	40	45	X ↔ Y	1-	75	X ↔ Y	1-
16	И	12	46	ИИ3	60	76	И3	43
17	-	10	47	ИИ1	6Г	77	И1	32
18	-	17	48	ИП2	62	78	И1	32
19	X ↔ Y	11	49	+	10	79	ИП6	66
20	ИП4	64	50	ИВ	4L	80	ИП3	65
21	ИИ1	6-	51	X ↔ Y	14	81	ИП9	65
22	F X ²	22	52	ИПД	6Г	82	÷	13
23	ИП9	69	53	ИП3	63	83	И8	63
24	X	12	54	X	12	84	И	12
25	+	10	55	+	10	85	+	10
26	И0	40	56	ИС	40	86	И	12
27	X ↔ Y	1=	57	ИИ8	68	87	X ↔ Y	1=
28	ИИ0	62	58	ИИ3	63	88	И6	46
29	F X ²	22	59	ИИ3	69	89	И/3	53

Приложение 2
(продолжение)

Исходные данные размещаются в следующих регистрах:

$[a_9] \rightarrow PC$, $[ab] \rightarrow P_1$, $[ac] \rightarrow P_2$, $[ad] \rightarrow P_3$,
 $[bb] \rightarrow P_4$, $[bc] \rightarrow P_5$, $[bd] \rightarrow P_6$, $[cc] \rightarrow P_7$,
 $[cd] \rightarrow P_8$, $[dd] \rightarrow P_9$, $[al] \rightarrow PA$, $[bl] \rightarrow PB$,
 $[cl] \rightarrow PC$, $[dl] \rightarrow PD$,

Пуск программы осуществляется нажатием клавиш В/О и С/П.

Через 90 - ИСС с на индикаторе высветится значение x_1 , а результаты вычислений будут занесены в соответствующие регистры ($x_1 \rightarrow PA$;
 $x_2 \rightarrow PB$; $x_3 \rightarrow PC$; $x_4 \rightarrow PD$; $-Q_{12} \rightarrow P_1$; $-Q_{13} \rightarrow P_2$; $-Q_{14} \rightarrow P_3$;
 $-Q_{22} \rightarrow P_4$; $-Q_{23} \rightarrow P_5$; $-Q_{24} \rightarrow P_6$; $-Q_{33} \rightarrow P_7$; $-Q_{34} \rightarrow P_8$; $-Q_{44} \rightarrow P_9$)

При решении по программе системы

$$\begin{bmatrix} 7,577 & 1,245 & -0,014 & 0,227 \\ -1,245 & 0,330 & 0,007 & -0,011 \\ -0,014 & 0,007 & 0,000 & -0,001 \\ 0,227 & -0,011 & -0,001 & 0,-91 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 13.683 \\ 1,245 \\ -11,593 \\ 7,340 \end{bmatrix}$$

получим неизвестные

$$x_1 = + 1,245; \quad x_2 = + 0,330; \quad x_3 = -11,593; \quad x_4 = + 7,340$$

и обратную матрицу (в регистрах они записаны с обратными знаками)

$$\begin{matrix} 0,1470 & -0,0775 & -0,0356 & -0,0783 \\ -0,0775 & 0,4067 & 0,1690 & 0,3717 \\ -0,0356 & 0,1690 & 0,3337 & 0,2837 \\ -0,0783 & 0,3717 & 0,2837 & 0,5960 \end{matrix}$$

Журнал "Геодезия и картография". № 16, 1966 (с исправлением теч. осл. в операторах программы 62 и 66).

Приложение 3

Сценка точности результатов измерений во всех комбинациях

Обратная матрица систем (8) и (9) имеет вид

$$Q = \begin{bmatrix} 0.750 & 0 & 0.350 & 0.500 \\ 0.750 & 0 & 0.500 & 0 \\ 0.750 & 0.500 & 1.000 & 0 \\ 0 & 0.500 & 0 & 1.000 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

А результаты подстановки исходных данных (10) в эти уравнения дали следующие значения неизвестных:

$$\delta_1 = -0,2502; \quad \delta_2 = -0,2503; \quad \delta_3 = -0,2498; \quad k = -0,25$$

Подставляя значения $\delta_1, \delta_2, \delta_3, k$ в (9) и, вычитая из правой части уравнения левую, получим значения невязок

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= 0,0003; & \sigma_2 &= -0,0002; & \sigma_3 &= -0,0001; & \sigma_4 &= 0,0002; \\ \sigma_5 &= 0,0003; & \sigma_6 &= -0,0002. \end{aligned}$$

И затем ср.кв. погрешность непосредственного измерения

$$m = \sqrt{\frac{\sum \sigma^2}{n-4}} = \sqrt{\frac{0.7 \cdot 10^{-8}}{2}} = 0.7 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 0.7 \text{ м.}$$

Ср. кв. погрешность уравненных значений x_{12}, x_{23}, x_{34}

$$m_x = m \sqrt{0.75} \quad (3.2)$$

Ср.кв. погрешность суммы двух уравненных значений (разд. II) находится по формуле

$$m_{\Sigma} = m (Q_{11} + Q_{22} + 2Q_{12})^{1/2} \quad (3.3)$$

Для суммы трех уравненных значений

$$m_{\Sigma} = m (Q_{11} + Q_{22} + Q_{33} + 2Q_{12} + 2Q_{13} + 2Q_{23})^{1/2}$$

Ср.кв. погрешность k из уравнивания

$$m_k = m \sqrt{Q_{44}} = m$$

(см. примечание на стр. 28)